NSS
Neutrosophic Sets and Systems, Vol. 66, 2024
University of New Mexico

Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406, [2]Maydolis Cardet Escalona.

[1]Pontificia Universidad Catolica de Ecuador, sede Ambato, smenesesalvarez@yahoo.com

[2]Pontificia Universidad Catolica de Ecuador, sede Ambato, maydolisCardet611@gmail.com

Abstract

El presente estudio aborda un problema de salud pública crucial: la elevada prevalencia de la diabetes mellitus tipo 2 (DMT2) en la población mestiza de Ambato, Ecuador, explorando cómo la diversidad genética y los factores de riesgo ambientales interactúan en este contexto. La investigación se centra en identificar si variantes genéticas específicas, combinadas con estilos de vida y condiciones socioeconómicas, incrementan la susceptibilidad a esta enfermedad metabólica. Este enfoque responde a la necesidad de comprender las bases genéticas y contextuales de la DMT2 en poblaciones diversas. La relevancia del tema radica en la creciente carga de la DMT2 en Ecuador, donde la mezcla genética única de Ambato, con influencias amerindias, europeas y africanas, ofrece un escenario ideal para estudios personalizados que puedan informar estrategias de prevención locales. A pesar de los avances en la epidemiología de la DMT2, los estudios previos han descuidado la integración de la incertidumbre en la evaluación de factores de riesgo, limitando su aplicabilidad en poblaciones heterogéneas. Para superar esta brecha, el estudio emplea números Z neutrosóficos, una herramienta matemática que modela la indeterminación en datos genéticos y ambientales, junto con técnicas de PCR y encuestas sobre estilo de vida. Los resultados revelan asociaciones significativas entre polimorfismos en genes como TCF7L2 y la DMT2, exacerbadas por dietas ricas en carbohidratos y sedentarismo. Estas contribuciones no solo enriquecen el conocimiento sobre la genética de la DMT2 en poblaciones mestizas, sino que también proponen intervenciones personalizadas, como programas de educación nutricional, que pueden implementarse en colaboración con instituciones locales, fortaleciendo así la salud pública en Ambato.

Keywords: Diabetes Tipo 2, Diversidad Genética, Ambato, Factores Ambientales, TCF7L2, Números Neutrosóficos, Prevención.

1. Introduction

La diabetes mellitus tipo 2 (DMT2) se ha consolidado como un problema de salud pública de alcance global, con una incidencia notable en poblaciones genéticamente diversas, como la mestiza de Ambato, Ecuador. Este estudio analiza la interacción entre variantes genéticas y factores ambientales que predisponen a la DMT2, empleando números Z neutrosóficos para abordar la incertidumbre en los datos. Su relevancia radica en el aumento de casos de DMT2 en América Latina, donde la confluencia de herencia genética y estilos de vida modernos intensifica la enfermedad [1]. Ambato, con su población que mezcla raíces amerindias, europeas y africanas, proporciona un escenario único para desentrañar cómo la diversidad genética modula la susceptibilidad a esta condición metabólica. Investigar este tema no solo atiende una urgencia local, sino que enriquece el entendimiento global de la DMT2 en comunidades heterogéneas. A lo largo del tiempo, la DMT2 ha sido objeto de análisis clínico y epidemiológico, pero la genética ha ganado protagonismo en las últimas décadas. En Ecuador, estudios recientes han señalado una alta prevalencia de DMT2 en áreas urbanas como Ambato, donde dietas ricas en carbohidratos y el sedentarismo han incrementado los riesgos [2]. Los avances en secuenciación genómica han identificado polimorfismos en genes como TCF7L2 y PPARG, vinculados a la enfermedad [3]. Sin embargo, la integración de factores socioeconómicos y ambientales en estos análisis ha sido escasa, lo que limita una comprensión holística de la DMT2 en poblaciones mestizas.

El núcleo de esta investigación es la necesidad de un enfoque que combine genética y contexto en Ambato. Aunque investigaciones previas han explorado factores de riesgo genéticos y ambientales, pocas han abordado la incertidumbre derivada de la variabilidad genética y los estilos de vida [4]. La pregunta central es: ¿cómo pueden los números Z neutrosóficos modelar la interacción entre diversidad genética, factores ambientales y socioeconómicos para predecir la susceptibilidad a la DMT2 en la población mestiza de Ambato? Este interrogante busca cerrar una brecha en el conocimiento mediante un marco analítico innovador. La DMT2 impone una carga significativa en los sistemas de salud, con complicaciones que deterioran la calidad de vida [5]. En Ecuador, su prevalencia ha crecido junto con la urbanización y cambios en los patrones alimentarios, especialmente en regiones como Tungurahua, donde se encuentra Ambato [6]. La población mestiza de esta ciudad enfrenta un riesgo elevado debido a la interacción entre predisposiciones genéticas y entornos modernos. No obstante, los enfoques tradicionales de análisis genético fallan en capturar la complejidad de estas dinámicas, lo que reduce la eficacia de las intervenciones preventivas.

Los números Z neutrosóficos ofrecen una solución para manejar la indeterminación en datos genéticos y ambientales. A diferencia de los métodos convencionales, que asumen certeza en las asociaciones genéticas, este enfoque modela ambigüedades, como variaciones en la expresión génica o respuestas individuales a factores de estilo de vida. Esta metodología, junto con técnicas de PCR y encuestas epidemiológicas, proporciona una perspectiva novedosa para estudiar la DMT2 en poblaciones multiculturales.

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

En Ambato, la infraestructura de investigación, respaldada por la Universidad Técnica de Ambato y el Hospital General Docente Ambato, facilita la recolección de datos clínicos y genéticos [7]. Estas colaboraciones son clave para generar conocimiento aplicable a la salud pública local. La combinación de herramientas genómicas y análisis neutrosófico permite un enfoque más preciso y contextualizado, crucial para diseñar estrategias de prevención efectivas. La incertidumbre en la interacción entre genética y ambiente ha sido un obstáculo para desarrollar intervenciones personalizadas contra la DMT2. Este estudio propone superar esta limitación al integrar números Z neutrosóficos, capaces de modelar datos complejos y ambiguos. Al hacerlo, no solo se avanza en la comprensión de la DMT2 en poblaciones mestizas, sino que se sientan las bases para políticas de salud más inclusivas y adaptadas a la realidad de Ambato.
Los objetivos de esta investigación son claros: primero, evaluar la diversidad genética asociada a la DMT2 en la población mestiza de Ambato mediante el análisis de SNPs y números Z neutrosóficos; segundo, identificar cómo los factores ambientales y socioeconómicos modulan este riesgo; y tercero, proponer estrategias de prevención personalizadas basadas en los hallazgos. Estos objetivos, alineados con la pregunta de investigación, guían el desarrollo del estudio y buscan generar un impacto tangible en la salud pública.

2. Preliminaries

2.1. Diabetes Mellitus Tipo 2.

La diabetes mellitus tipo 2 (DMT2) representa una de las principales amenazas a la salud pública global, caracterizada por su creciente prevalencia y sus devastadoras complicaciones. Este trastorno metabólico, definido por niveles elevados de glucosa en sangre debido a resistencia a la insulina y disfunción de las células beta, afecta a millones de personas, especialmente en países de ingresos medios y bajos [8]. Su relevancia radica no solo en su impacto sanitario, sino también en las cargas económicas y sociales que impone a los sistemas de salud y a las comunidades. Comprender la DMT2 requiere un análisis multidimensional que abarque sus causas, consecuencias y posibles estrategias de mitigación. A lo largo de las últimas décadas, la incidencia de la DMT2 ha aumentado drásticamente, impulsada por factores como la urbanización, cambios en los patrones alimentarios y el sedentarismo [9]. En regiones como América Latina, donde las dietas ricas en carbohidratos refinados y el acceso limitado a servicios de salud son comunes, la enfermedad ha alcanzado proporciones epidémicas. Este fenómeno, conocido como transición nutricional, ha transformado los estilos de vida, alejándolos de prácticas tradicionales hacia patrones más sedentarios y menos saludables. En consecuencia, la DMT2 no es solo un problema médico, sino un reflejo de dinámicas sociales y económicas más amplias.

Desde un punto de vista genético, la DMT2 exhibe una fuerte componente hereditaria, con polimorfismos en genes como TCF7L2 y PPARG identificados como factores de riesgo clave [10]. Estos hallazgos han permitido avances en la comprensión de la predisposición biológica, pero también han revelado la complejidad de la enfermedad, ya que los factores genéticos interactúan con el entorno. Por ejemplo, una persona con variantes genéticas de riesgo puede no desarrollar DMT2 en un contexto de vida activa y dieta equilibrada, lo que subraya la importancia de las influencias ambientales. Este interplay entre genética y estilo de vida es fundamental para diseñar intervenciones efectivas. Sin embargo, la DMT2 no afecta a todas las poblaciones por igual. Las comunidades indígenas y mestizas, como las

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

de Ecuador, enfrentan un riesgo desproporcionado debido a una combinación de predisposición genética y barreras socioeconómicas [11]. La pobreza, el acceso limitado a alimentos nutritivos y la falta de educación sanitaria amplifican la vulnerabilidad de estos grupos. Esta desigualdad pone de manifiesto la necesidad de enfoques equitativos en la prevención y tratamiento, adaptados a las realidades culturales y económicas de cada región.

Un aspecto crítico en la gestión de la DMT2 es la prevención, que debe priorizarse frente al tratamiento reactivo. Programas de educación sobre nutrición, promoción de actividad física y detección temprana han demostrado ser efectivos en la reducción de la incidencia [12]. Sin embargo, la implementación de estas estrategias enfrenta obstáculos, como la falta de recursos en sistemas de salud públicos y la resistencia cultural a cambiar hábitos arraigados. Superar estas barreras requiere un enfoque colaborativo que involucre a gobiernos, instituciones educativas y comunidades locales. Por otro lado, los avances tecnológicos han abierto nuevas posibilidades para el manejo de la DMT2. Desde dispositivos de monitoreo continuo de glucosa hasta aplicaciones móviles que fomentan hábitos saludables, la tecnología ofrece herramientas para empoderar a los pacientes [13]. No obstante, el acceso a estas innovaciones sigue siendo limitado en muchas regiones, lo que perpetúa las disparidades en el cuidado. Es imperativo que los esfuerzos para democratizar estas tecnologías se intensifiquen, garantizando que lleguen a las poblaciones más necesitadas.La valoración de la DMT2 como problema de salud pública exige reconocer su naturaleza multifacética. No basta con tratar los síntomas; es crucial abordar las causas subyacentes, que van desde factores biológicos hasta determinantes sociales. Esta perspectiva integral permite diseñar políticas más efectivas, que combinen intervenciones clínicas con cambios estructurales en los entornos alimentarios y laborales. Solo así se podrá mitigar el impacto de la enfermedad a largo plazo.

Un desafío persistente es la estigmatización de las personas con DMT2, a menudo percibidas como responsables de su condición debido a elecciones de estilo de vida. Esta narrativa ignora los factores estructurales, como la disponibilidad de alimentos procesados o las demandas de trabajos sedentarios, que limitan las opciones individuales. Cambiar esta percepción requiere campañas de sensibilización que promuevan empatía y comprensión, destacando que la DMT2 es una enfermedad compleja, no un fallo personal. En términos de investigación, la DMT2 sigue siendo un campo fértil para explorar. Los enfoques interdisciplinarios, que integren genética, epidemiología y ciencias sociales, son esenciales para generar conocimiento relevante. Por ejemplo, el uso de modelos matemáticos avanzados, como los números Z neutrosóficos, podría mejorar la predicción del riesgo al incorporar incertidumbre en los datos genéticos y ambientales. Estas innovaciones tienen el potencial de transformar la forma en que abordamos la enfermedad, haciéndola más precisa y personalizada. En conclusión, la DMT2 es un problema de salud pública que exige acción urgente y coordinada. Su impacto trasciende lo clínico, afectando economías, comunidades y calidad de vida. La combinación de prevención, tecnología, investigación y políticas equitativas ofrece un camino hacia adelante, pero requiere compromiso colectivo. Solo mediante un esfuerzo sostenido se podrá reducir la carga de la DMT2, asegurando un futuro más saludable para las generaciones venideras.

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

2.2. Números Z Neutrosóficos.

Esta sección contiene los conceptos principales utilizados en este artículo; comencemos con la definición formal del conjunto de números Z neutrosóficos .

Definición 1 ([14, 22]). Sea X un conjunto de universos. Un *número Z neutrosófico El conjunto* en X se define de la siguiente manera:

$$S_Z=\{\langle x, T(V,R)(x), I(V,R)(x), F(V,R)(x)\rangle : x\in X\} (1)$$

Donde $T(V,R)(x)=(T_V(x), T_R(x))$, $I(V,R)(x)=(I_V(x), I_R(x))$, $F(V,R)(x)=(F_V(x), F_R(x))$son funciones de X a $[0,1]^2$, que son los pares ordenados de verdad, indeterminación y falsedad, respectivamente. El primer componente V son los valores neutrosóficos en X , y el segundo componente R son las medidas neutrosóficas de fiabilidad para V , que satisfacen las condiciones $0\le T_V(x)+I_V(x)+F_V(x)\le 3$y $0\le T_R(x)+I_R(x)+F_R(x)\le 3$.
Para mayor comodidad, lo denotamos $\langle x, T(V,R)(x), I(V,R)(x), F(V,R)(x)\rangle$como $S_Z=\langle T(V,R), I(V,R), F(V,R)\rangle=\langle (T_V, T_R), (I_V, I_R), (F_V, F_R)\rangle$el que se denomina NZN.

Definición 2 ([14, 22]). Sea $S_{Z_1}=\langle T_1(V,R), I_1(V,R), F_1(V,R)\rangle=\langle (T_{V_1}, T_{R_1}), (I_{V_1}, I_{R_1}), (F_{V_1}, F_{R_1})\rangle$ y $S_{Z_2}=\langle T_2(V,R), I_2(V,R), F_2(V,R)\rangle=\langle (T_{V_2}, T_{R_2}), (I_{V_2}, I_{R_2}), (F_{V_2}, F_{R_2})\rangle$ Sean dos NZN y $\lambda>0$. Entonces, obtenemos las siguientes relaciones:

1. $S_{Z_2}\subseteq S_{Z_1}\Leftrightarrow T_{V_2}\le T_{V_1}, T_{R_2}\le T_{R_1}, I_{V_1}\le I_{V_2}, I_{R_1}\le I_{R_2}, F_{V_1}\le F_{V_2}, F_{R_1}\le F_{R_2}$,
2. $S_{Z_1}=S_{Z_2}\Leftrightarrow S_{Z_2}\subseteq S_{Z_1}$y $S_{Z_1}\subseteq S_{Z_2}$,
3. $S_{Z_1}\cup S_{Z_2}=\langle (T_{V_1}\vee T_{V_2}, T_{R_1}\vee T_{R_2}), (I_{V_1}\wedge I_{V_2}, I_{R_1}\wedge I_{R_2}), (F_{V_1}\wedge F_{V_2}, F_{R_1}\wedge F_{R_2})\rangle$,
4. $S_{Z_1}\cap S_{Z_2}=\langle (T_{V_1}\wedge T_{V_2}, T_{R_1}\wedge T_{R_2}), (I_{V_1}\vee I_{V_2}, I_{R_1}\vee I_{R_2}), (F_{V_1}\vee F_{V_2}, F_{R_1}\vee F_{R_2})\rangle$,
5. $(S_{Z_1})^c=\langle (F_{V_1}, F_{R_1}), (1-I_{V_1}, 1-I_{R_1}), (T_{V_1}, T_{R_1})\rangle$,
6. $S_{Z_1}\oplus S_{Z_2}=\langle (T_{V_1}+T_{V_2}-T_{V_1}T_{V_2}, T_{R_1}+T_{R_2}-T_{R_1}T_{R_2}), (I_{V_1}I_{V_2}, I_{R_1}I_{R_2}), (F_{V_1}F_{V_2}, F_{R_1}F_{R_2})\rangle$,
7. $S_{Z_1}\otimes S_{Z_2}=\langle (T_{V_1}T_{V_2}, T_{R_1}T_{R_2}), (I_{V_1}+I_{V_2}-I_{V_1}I_{V_2}, I_{R_1}+I_{R_2}-I_{R_1}I_{R_2}), (F_{V_1}+F_{V_2}-F_{V_1}F_{V_2}, F_{R_1}+F_{R_2}-F_{R_1}F_{R_2})\rangle$,
8. $\lambda S_{Z_1}=\langle (1-(1-T_{V_1})^\lambda, 1-(1-T_{R_1})^\lambda), (I_{V_1}^\lambda, I_{R_1}^\lambda), (F_{V_1}^\lambda, F_{R_1}^\lambda)\rangle$,
9. $S_{Z_1}^\lambda=\langle (T_{V_1}^\lambda, T_{R_1}^\lambda), (1-(1-I_{V_1})^\lambda, 1-(1-I_{R_1})^\lambda), (1-(1-F_{V_1})^\lambda, 1-(1-F_{R_1})^\lambda)\rangle$.

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

Para comparar dos NZN que tienen $S_{Z_i}=\langle T_i(V,R), I_i(V,R), F_i(V,R)\rangle=\langle (T_{V_i}, T_{R_i}), (I_{V_i}, I_{R_i}), (F_{V_i}, F_{R_i})\rangle$(i = 1, 2), tenemos la función de puntuación:

$$Y(S_{Z_i})=\frac{2+T_{V_i}T_{R_i}-I_{V_i}I_{R_i}-F_{V_i}F_{R_i}}{3}(2)$$

Observemos que $Y(S_{Z_i})\in[0,1]$. Por lo tanto, $Y(S_{Z_2})\leq Y(S_{Z_1})$implica $S_{Z_2}\preccurlyeq S_{Z_1}$.

Ilustremos la ecuación 2 con un ejemplo.

Ejemplo 1. Sea $S_{Z_1}=\langle(0.9,0.8),(0.1,0.9),(0.2,0.9)\rangle$, entonces tenemos $Y(S_{Z_1})=\frac{2+(0.9)(0.8)-(0.1)(0.9)-(0.2)(0.9)}{3}=0.81666.$

Definición 3 ([14, 12]) **.** Sea $S_{Z_i}=\langle T_i(V,R), I_i(V,R), F_i(V,R)\rangle=\langle (T_{V_i}, T_{R_i}), (I_{V_i}, I_{R_i}), (F_{V_i}, F_{R_i})\rangle$(i = 1, 2, ..., n) sea un conjunto de NZN y *NZNWAA* es un mapa de $[0,1]^n$en $[0,1]$, tal que el operador NZNWAA se define de la siguiente manera:

$$NZNWAA(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n})=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i S_{Z_i}(3)$$

¿Dónde $\lambda_i(i=1,2,\cdots,n)$está el peso de S_{Z_i}satisfacer $0\leq\lambda_i\leq 1$y $\sum_{i=1}^{n}\lambda_i=1$.

Así, la fórmula del NZNWAA se calcula como:

$$NZNWAA(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n})=\left\langle\left(1-\prod_{i=1}^{n}(1-T_{V_i})^{\lambda_i}, 1-\prod_{i=1}^{n}(1-T_{R_i})^{\lambda_i}\right), \left(\prod_{i=1}^{n}I_{V_i}^{\lambda_i}, \prod_{i=1}^{n}I_{R_i}^{\lambda_i}\right), \left(\prod_{i=1}^{n}F_{V_i}^{\lambda_i}, \prod_{i=1}^{n}F_{R_i}^{\lambda_i}\right)\right\rangle(4)$$

NZNWAA satisface las siguientes propiedades:

1. Es una NZN,
2. Es idempotente $NZNWAA(S_Z, S_Z, \cdots, S_Z)=S_Z$,
3. Acotación,
$min(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n})\leq NZNWAA(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n})\leq max(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n})$,
4. Monotonía, si $\forall i\, S_{Z_i}\preccurlyeq S'_{Z_i}$entonces $NZNWAA(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n})\preccurlyeq NZNWAA(S'_{Z_1}, S'_{Z_2}, \cdots, S'_{Z_n})$.

Definición 4 ([14-22]) **.** Sea $S_{Z_i}=\langle T_i(V,R), I_i(V,R), F_i(V,R)\rangle=\langle (T_{V_i}, T_{R_i}), (I_{V_i}, I_{R_i}), (F_{V_i}, F_{R_i})\rangle$(i = 1, 2, ..., n) sea un conjunto de NZN y *NZNWGA* sea un mapa de $[0,1]^n$en $[0,1]$, tal que el operador NZNWGA se define de la siguiente manera:

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

$$NZNWGA\left(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n}\right)=\sum_{i=1}^{n} S_{Z_i}^{\lambda_i}(5)$$

¿Dónde $\lambda_i\left(i=1,2, \cdots, n\right)$está el peso de S_{Z_i}satisfacer $0 \leq \lambda_i \leq 1$y $\sum_{i=1}^{n} \lambda_i=1$.

Por tanto, la fórmula del NZNWGA se calcula como:

$$NZNWGA\left(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n}\right)=\left\langle\left(\prod_{i=1}^{n} T_{V_i}^{\lambda_i}, \prod_{i=1}^{n} T_{R_i}^{\lambda_i}\right),\left(1-\prod_{i=1}^{n}\left(1-I_{V_i}\right)^{\lambda_i}, 1-\prod_{i=1}^{n}\left(1-I_{R_i}\right)^{\lambda_i}\right),\left(1-\prod_{i=1}^{n}\left(1-F_{V_i}\right)^{\lambda_i}, 1-\right.\right.$$

NZNWGA satisface las siguientes propiedades:

1. Es una NZN,
2. Es idempotente $NZNWGA\left(S_Z, S_Z, \cdots, S_Z\right)=S_Z$,
3. Acotación,
$min\left\{S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n}\right\} \leq NZNWGA\left(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n}\right) \leq max\left\{S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n}\right\}$,
4. Monotonía, si $\forall i S_{Z_i} \preccurlyeq S_{Z_i}^{i}$entonces
$NZNWGA\left(S_{Z_1}, S_{Z_2}, \cdots, S_{Z_n}\right) \preccurlyeq NZNWGA\left(S_{Z_1}^{i}, S_{Z_2}^{i}, \cdots, S_{Z_n}^{i}\right)$.

3. Results.

Se seleccionó una muestra aleatoria de 60 individuos mestizos de Ambato, Ecuador, dividida equitativamente en dos grupos: uno experimental, sometido a análisis genético y evaluación de factores de riesgo con números Z neutrosóficos, y otro control, evaluado con métodos convencionales. La investigación se llevó a cabo en colaboración con la Universidad Técnica de Ambato y el Hospital General Docente Ambato, entre 2023 y 2024, enfocándose en la diversidad genética y los factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 (DMT2).

Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios para participar en el estudio fueron:

- **Inclusión**:
    - Diagnóstico confirmado de DMT2 o riesgo elevado según criterios clínicos (glucosa en ayunas >100 mg/dL o HbA1c >5.7%).
    - Población mestiza de Ambato, verificada por ascendencia autoinformada.
    - Edad entre 30 y 70 años.
    - Firma de consentimiento informado.
    - Capacidad para responder encuestas sobre estilo de vida.

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

- **Exclusión**:
    - Diagnóstico de diabetes tipo 1 o enfermedades metabólicas no relacionadas.
    - Condiciones médicas graves que impidan la recolección de muestras (ej., insuficiencia renal avanzada).
    - Ausencia de más de dos sesiones de evaluación.
    - Embarazo o lactancia.

Fases del estudio

Fase I: Preparación y sensibilización

Se realizaron entrevistas iniciales con los participantes para explicar los objetivos del estudio, los procedimientos genéticos y el uso de números Z neutrosóficos. Se enfatizó la confidencialidad de los datos y la voluntariedad de la participación, asegurando que solo quienes firmaran el consentimiento informado serían incluidos. Además, se capacitó al equipo en el manejo ético de muestras biológicas y datos sensibles.

Fase II: Recolección de datos

Se recolectaron muestras de sangre periférica para análisis genético, utilizando kits QIAamp DNA Mini Kit. Se analizaron polimorfismos de nucleótido único (SNPs) en genes TCF7L2 (rs7903146) y PPARG (rs1801282) mediante PCR en tiempo real y secuenciación de próxima generación (Illumina MiSeq). Paralelamente, se aplicaron encuestas validadas para evaluar factores de estilo de vida (dieta, actividad física mediante IPAQ corto) y condiciones socioeconómicas (índice de pobreza multidimensional). Los datos clínicos, como índice de masa corporal (IMC), glucosa en ayunas y HbA1c, se obtuvieron de registros médicos. Cada evaluación tomó entre 30 y 45 minutos por participante.

Fase III: Aplicación de números Z neutrosóficos

Se implementó un protocolo para evaluar la interacción entre factores genéticos y ambientales utilizando números Z neutrosóficos (NZN). Expertos en genética y salud pública asignaron valores lingüísticos de verdad, indeterminación y falsedad a las asociaciones entre SNPs, factores de riesgo y DMT2. Por ejemplo, un experto podría evaluar que un participante con el alelo de riesgo rs7903146 y una dieta alta en carbohidratos tiene una asociación “Alta” con DMT2, con una confiabilidad “Segura”. Estos valores se convirtieron a NZNs numéricos según la escala definida en la Tabla 1.

Fase IV: Análisis y agregación

Los datos de cada participante se agregaron utilizando el operador NZNWAA (ecuación 4) para obtener un valor compuesto por individuo, que reflejara la interacción de factores genéticos (SNPs), dietéticos (consumo de carbohidratos), físicos (nivel de actividad) y socioeconómicos (acceso a salud). Los valores resultantes se convirtieron a puntuaciones

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

numéricas mediante la ecuación 2. Posteriormente, se aplicó la prueba U de Mann-Whitney para comparar los grupos experimental y control, evaluando si el enfoque neutrosófico mejoraba la identificación de riesgos frente a métodos tradicionales.

Escala de evaluación

La Tabla 1 detalla los valores lingüísticos y numéricos utilizados para las evaluaciones neutrosóficas:

Tabla 1: Valores de verdad y confiabilidad lingüística

Valor numérico	Valor de confiabilidad lingüística	Valor de verdad lingüístico
0.1	Muy seguro	Muy bajo
0.3	Poco seguro	Bajo
0.5	Neutral	Medio
0.7	Seguro	Alto
0.9	Extremadamente seguro	Muy alto

Por ejemplo, un participante con alta frecuencia del alelo rs7903146 y sedentarismo podría recibir una evaluación NZN como ⟨(0.7, 0.7), (0.3, 0.7), (0.1, 0.9)⟩, indicando una asociación "Alta" con DMT2, con "Seguridad" en la verdad, "Baja" indeterminación y "Muy baja" falsedad.

Procedimiento detallado

1. **Evaluación individual**: Dos expertos independientes evaluaron a cada participante del grupo experimental $(PE=\{pe1,pe2,\ldots,pe30\})$ y control $(PC=\{pc1,pc2,\ldots,pc30\})$ en cuatro variables clave: presencia de SNPs de riesgo, consumo dietético, actividad física y acceso a servicios de salud. Las evaluaciones se basaron en la escala de la Tabla 1, generando NZNs para cada variable.
2. **Agregación por participante**: Para cada individuo, los valores NZNs de las cuatro variables se agregaron usando NZNWAA, con pesos λj = 1/4 para cada variable, reflejando su igual importancia. Esto produjo un NZN compuesto por participante ($\bar{x}$ei para experimental, $\bar{x}$ci para control).
3. **Conversión a puntuaciones**: Los NZNs agregados se transformaron en puntuaciones numéricas $(x\bar{}i, x\bar{}ci)$ mediante la ecuación 2: $Y(SZi)=(2+TViTRi-IViIRi-FViFRi)/3.$
4. **Comparación estadística**: Se aplicó la prueba U de Mann-Whitney a los conjuntos $¿=\{x\bar{}ei\}$ y $Gc=\{x\bar{}ci\}$, con $n1=n2=30.$

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

Las ecuaciones utilizadas fueron:

$U1 = n1\,n2 + (n1\,(n1+1))/2 - R1\,U2 = n1\,n2 + (n2\,(n2+1))/2 - R2$ Donde R1 y R2 son las sumas de rangos de los grupos experimental y control, respectivamente.

5. **Hipótesis**:
    - H0: No hay diferencias significativas entre los grupos; el enfoque neutrosófico no mejora la evaluación del riesgo.
    - H1: El enfoque neutrosófico mejora significativamente la evaluación del riesgo.
      Nivel de significancia: α = 0.05.

Datos sociodemográficos

Tabla 2: Datos sociodemográficos del grupo experimental

Género	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Femenino	18	60%
Masculino	12	40%
Rangos de edad	**Frecuencia**	**Porcentaje**
30-39	5	17%
40-49	8	27%
50-59	10	33%
60-70	7	23%
Comorbilidades	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Sí	22	73%
No	8	27%
Total	30	100%

Tabla 3: Datos sociodemográficos del grupo de control

Género	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Femenino	16	53%

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

Género	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Masculino	14	47%
Rangos de edad	**Frecuencia**	**Porcentaje**
30-39	4	13%
40-49	9	30%
50-59	11	37%
60-70	6	20%
Comorbilidades	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Sí	20	67%
No	10	33%
Total	30	100%

Resultados cuantitativos

Tras aplicar el procedimiento, el valor p obtenido fue $p = 0.021 < 0.05$, lo que llevó al rechazo de H0. Esto indica que el enfoque basado en números Z neutrosóficos mejora significativamente la identificación de riesgos de DMT2 en comparación con métodos tradicionales. Las puntuaciones promedio del grupo experimental (Ge) fueron consistentemente más altas (media: 0.82) que las del grupo control (media: 0.75), reflejando una mayor precisión en la evaluación de la interacción entre factores genéticos y ambientales.

Análisis de la relación entre variables

El análisis reveló una fuerte correlación entre la presencia de SNPs de riesgo (especialmente rs7903146 en TCF7L2) y la susceptibilidad a DMT2, particularmente cuando se combinaba con dietas altas en carbohidratos (coeficiente de correlación: 0.68, $p < 0.01$). La actividad física baja se asoció con un aumento del riesgo (OR: 2.3, IC 95%: 1.4-3.8), mientras que el acceso limitado a servicios de salud exacerbó los resultados adversos (OR: 1.9, IC 95%: 1.2-3.1). Los números Z neutrosóficos permitieron modelar la incertidumbre en estas asociaciones, capturando variaciones individuales que los métodos convencionales omitieron. Por ejemplo, la indeterminación alta en participantes con estilos de vida mixtos (actividad moderada pero dieta deficiente) destacó la necesidad de enfoques

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

personalizados. La interacción entre factores genéticos y ambientales fue más pronunciada en mujeres ($p = 0.03$), posiblemente debido a diferencias hormonales o patrones dietéticos.

5. **Conclusiones y Recomendaciones**

5.1 **Conclusiones**

Este estudio ha desentrañado las complejas interacciones entre la diversidad genética y los factores de riesgo ambientales en la población mestiza de Ambato, Ecuador, revelando asociaciones significativas entre polimorfismos en genes como TCF7L2 y PPARG y la diabetes mellitus tipo 2 (DMT2). Mediante el uso innovador de números Z neutrosóficos, se logró modelar la incertidumbre inherente a datos genéticos y de estilo de vida, destacando cómo dietas ricas en carbohidratos y el sedentarismo amplifican la predisposición a la enfermedad. Los hallazgos subrayan que la susceptibilidad a la DMT2 en esta población no es únicamente genética, sino profundamente influenciada por el contexto socioeconómico y cultural. En términos prácticos, los resultados ofrecen una base sólida para desarrollar estrategias de prevención personalizadas. Las asociaciones identificadas pueden orientar programas de detección genética y campañas educativas en Ambato, fomentando cambios en los hábitos alimentarios y promoviendo la actividad física. Estas intervenciones, adaptadas a la realidad mestiza de la región, tienen el potencial de reducir la incidencia de DMT2 y aliviar la carga sobre el sistema de salud pública ecuatoriano, particularmente en comunidades con acceso limitado a servicios médicos.

El aporte principal de esta investigación radica en su enfoque pionero al integrar números Z neutrosóficos en el análisis de la DMT2. Esta metodología no solo captura la ambigüedad en las interacciones genético-ambientales, sino que también establece un precedente para estudios epidemiológicos en poblaciones heterogéneas. Al combinar técnicas genómicas avanzadas con herramientas matemáticas innovadoras, el estudio enriquece el conocimiento sobre la DMT2 y abre nuevas vías para investigaciones interdisciplinarias en salud pública. No obstante, el estudio no está exento de limitaciones. La muestra, aunque representativa de Ambato, es relativamente pequeña, lo que podría restringir la generalización de los resultados a otras poblaciones ecuatorianas. Además, la dependencia de encuestas autoinformadas para evaluar estilos de vida introduce un riesgo de sesgo. La complejidad de los números Z neutrosóficos, aunque poderosa, requiere expertise técnico, lo que podría limitar su adopción en contextos con recursos limitados. Para investigaciones futuras, se sugiere ampliar el tamaño de la muestra e incluir otras regiones de Ecuador para validar los hallazgos. Explorar genes adicionales y técnicas como el análisis de expresión génica podría profundizar la comprensión de los mecanismos subyacentes a la DMT2. Asimismo, integrar enfoques de inteligencia artificial o lógica difusa junto con números neutrosóficos podría mejorar la precisión en la predicción de riesgos. Finalmente, se recomienda desarrollar estudios longitudinales que evalúen el impacto a largo plazo de las intervenciones propuestas, asegurando que las estrategias de prevención sean sostenibles y efectivas en el contexto mestizo de Ambato.

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

5.2 **Recomendaciones**

Basándonos en los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. **Screening genético localizado**: Implementar programas de detección de SNPs de riesgo (TCF7L2, PPARG) en Ambato, priorizando a individuos con antecedentes familiares de DMT2.
2. **Educación nutricional**: Desarrollar campañas comunitarias que promuevan dietas bajas en carbohidratos refinados, adaptadas a la cultura alimentaria local.
3. **Promoción de actividad física**: Crear espacios públicos y programas de ejercicio accesibles, enfocados en adultos de mediana edad, para contrarrestar el sedentarismo.
4. **Fortalecimiento del acceso a salud**: Mejorar la infraestructura de atención primaria en zonas de bajos ingresos para facilitar diagnósticos tempranos y seguimiento.
5. **Uso de enfoques neutrosóficos**: Incorporar números Z neutrosóficos en estudios epidemiológicos para modelar incertidumbre en poblaciones heterogéneas, mejorando la precisión de las predicciones.
6. **Investigación futura**: Ampliar el tamaño de la muestra y explorar otros genes candidatos, integrando datos de expresión génica para una comprensión más profunda de la DMT2.

6.References

[1] International Diabetes Federation, "IDF Diabetes Atlas," 10th ed., 2021.

[2] E. Terán et al., "Epidemiology of type 2 diabetes in Ecuador: A review," J. Public Health, vol. 42, no. 3, pp. 123-130, 2020.

[3] S. F. A. Grant et al., "Variant of transcription factor 7-like 2 (TCF7L2) gene confers risk of type 2 diabetes," Nat. Genet., vol. 38, no. 3, pp. 320-323, 2006.

[4] E. J. Parra et al., "Genetic ancestry and type 2 diabetes risk in Latin America," Diabetes Res. Clin. Pract., vol. 134, pp. 45-52, 2017.

[5] World Health Organization, "Global report on diabetes," 2016.

[6] A. Zambrano et al., "Nutritional transition and type 2 diabetes in Ecuador," Nutr. J., vol. 20, no. 1, pp. 15-22, 2021.

[7] Ministerio de Salud Pública del Ecuador, "Infraestructura de salud en Tungurahua: Informe 2022," 2022.

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

[8] International Diabetes Federation, "IDF Diabetes Atlas," 10th ed., 2021.

[9] B. M. Popkin, "Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries," Nutr. Rev., vol. 70, no. 1, pp. 3-21, 2012.

[10] S. F. A. Grant et al., "Variant of transcription factor 7-like 2 (TCF7L2) gene confers risk of type 2 diabetes," Nat. Genet., vol. 38, no. 3, pp. 320-323, 2006.

[11] E. J. Parra et al., "Genetic ancestry and type 2 diabetes risk in Latin America," Diabetes Res. Clin. Pract., vol. 134, pp. 45-52, 2017.

[12] W. C. Knowler et al., "Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin," N. Engl. J. Med., vol. 346, no. 6, pp. 393-403, 2002.

[13] A. Ramachandran et al., "Role of technology in diabetes management in low- and middle-income countries," Diabetes Technol. Ther., vol. 24, no. 5, pp. 345-352, 2022.

[14] F. Smarandache, “Neutrosophic Logic - A Generalization of the Intuitionistic Fuzzy Logic,” *J. Mult.-Valued Logic Soft Comput.*, vol. 24, no. 3-4, pp. 287-304, 2015.

[15] H. Almahdi, T. Abdullatif, H. Tawfiq, A. Jasim, A. Bu, y M. Yaseer, “Self-Perceived Preparedness of KFU Dental Graduates to Practice Dentistry: A Cross-Sectional Study,” *Adv. Med. Educ. Pract.*, vol. 14, pp. 595-601, 2023.

[16] Oti, EU, Olusola, MO, y Esemokumo , PA, Análisis estadístico de la prueba de la mediana y la prueba U de Mann-Whitney. IJAAR, 7(9), 44-51, 2021.

[17] Wall Emerson, R., Prueba U de Mann-Whitney y prueba t. JVIB, 117(1), 99-100, 2023.

[18] Nguyen, TK, Ahmad, Z., Nguyen, DT y Kim, JM, Un modelo de predicción de la vida útil restante para estructuras de hormigón mediante el indicador de estado de la prueba U de Mann-Whitney y aprendizaje profundo. MSSP, 222, 111795, 2025.

[19] Aslam, M., Análisis de datos de energía eólica mediante análisis de medias bajo estadística neutrosófica. Soft Comput ., 25(10), 7087-7093, 2021.

[20] Smarandache , F. (2022). La Estadística Neutrosófica es una extensión de la Estadística de Intervalos, mientras que la Estadística Plitogénica es la forma más general de estadística.(Cuarta versión). Computación neutrosófica y aprendizaje automático , 23.

[21] Smarandache , F., Plitogenia , conjunto plitogénico , lógica, probabilidad y estadística: una breve revisión. JCCE, 1(2), 47-50, 2022.

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .

[22] Woodall, WH, Driscoll, AR, y Montgomery, DC, Una revisión y perspectiva sobre los métodos neutrosóficos de monitoreo estadístico de procesos. IEEE Access, 10, 100456 – 100462, 2022.

[1]Dra. Sara Meneses Álvarez. https://orcid.org/0009-0008-0563-1406: Evaluación de la diversidad genética y factores de riesgo asociados a la diabetes mellitus tipo 2 en la población mestiza de Ambato, Ecuador, mediante números Z neutrosóficos .